

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02K29/00, 21/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H02K29/00, 21/14, 1/27

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996

日本国公開実用新案公報 1971-2001

日本国実用新案登録公報 1996-2001

日本国登録実用新案公報 1994-2001

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|--|---------------------------------------|
| X Y | JP 10-126985 A (株式会社日立製作所) 15. 5月. 1998 (15. 05. 98) 全文、第1-16図 全文、第1-16図 (ファミリーなし) | 1-8, 12, 13, 15 9-11, 14, 16-19 |
| Y | JP 10-23724 A (株式会社日立製作所) 23. 1月. 1998 (23. 01. 98) 【0026】-【0027】、第2図 (ファミリーなし) | 9-11 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 08. 01

国際調査報告の発送日

04.09.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

安池 一貴



3V

9150

電話番号 03-3581-1101 内線 3356

| C (続き). 関連すると認められる文献 | | |
|----------------------|--|------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| Y | US 6034458 A (Seiko Epson Corporation) 7. 3月. 2000 (07. 03. 00) 全文、第1-21図 &JP 8-331823 A、全文、第1-21図 &CN 1138234 A &US 5844344 A &KR 234587 B | 14, 16 |
| Y | JP 10-262359 A (株式会社日立製作所) 29. 9月. 1998 (29. 9. 98) 【0052】、第1-6図 (ファミリーなし) | 17-19 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/04606

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H02K29/00, 21/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H02K29/00, 21/14, 1/27

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1926-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2001 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2001 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2001 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|------------------------------------|
| X Y | JP 10-126985 A (Hitachi, Ltd.), 15 May, 1998 (15.05.98), Full text; Figs. 1 to 16 Full text; Figs. 1 to 16 (Family: none) | 1-8, 12, 13, 15 9-11, 14, 16-19 |
| Y | JP 10-23724 A (Hitachi, Ltd.), 23 January, 1998 (23.01.98), Par. Nos. [0026] to [0027]; Fig. 2 (Family: none) | 9-11 |
| Y | US 6034458 A (Seiko Epson Corporation), 07 March, 2000 (07.03.00), Full text; Figs. 1 to 21 & JP 8-331823 A Full text; Figs. 1 to 21 & CN 1138234 A & US 5844344 A & KR 234587 B | 14, 16 |
| Y | JP 10-262359 A (Hitachi, Ltd.), 29 September, 1998 (29.09.98), Par. No. [0052]; Figs. 1 to 6 (Family: none) | 17-19 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 August, 2001 (27.08.01)Date of mailing of the international search report
04 September, 2001 (04.09.01)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



PCT

国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)
[PCT18条、PCT規則43、44]

| | | |
|----------------------------|---|-------------------------|
| 出願人又は代理人 の書類記号 2001-081 | 今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。 | |
| 国際出願番号 PCT/JP01/04606 | 国際出願日 (日.月.年) 31.05.01 | 優先日 (日.月.年) 02.06.00 |
| 出願人(氏名又は名称) 三菱重工業株式会社 | | |

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

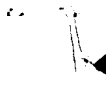
6. 要約書とともに公表される図は、

第 2 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。



| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|--|------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| Y | US 6034458 A (Seiko Epson Corporation) 7. 3月. 2000 (07. 03. 00) 全文、第1-21図 &JP 8-331823 A、全文、第1-21図 &CN 1138234 A &US 5844344 A &KR 234587 B | 14, 16 |
| Y | JP 10-262359 A (株式会社日立製作所) 29. 9月. 1998 (29. 9. 98) 【0052】、第1-6図 (ファミリーなし) | 17-19 |

- 1 -

明細書

ブラシレスモータ

5 技術分野

本発明は、ブラシレスモータに関し、特に、産業用ロボット、工作機械、電気自動車、電車の駆動源として用いられるブラシレスモータに関する。

10 背景技術

モータの小型化・高出力化及び高トルク化のためには、出力に対するモータ体積比であるエネルギー密度 E_{dc} が大きいことが重要である。更に、モータの構造の簡素化のためには、巻線配置用のスロット数の極少化と、巻線を巻く作業性が高いことが重要である。

そのようなブラシレスモータが、日本国公開特許公報（特開平 11-98791）に開示されている。公知のそのブラシレスモータは、図 1 に示されるように、14 極 12 スロットの構造を持つ表面磁石型ブラシレス DC モータである。そのブラシレスモータは、ロータ 101 の円筒表面に配置された 14 極直列構造の永久磁石群 102 と、12 個のスロット 103-1 ~ 103-12 が放射状に等角度間隔で同一円周上に配置されたステータ 104 とから形成されている。12 個のスロット 103-1 ~ 103-12 のうちの隣り合う 2 個のスロットからなる 6 つのスロット対には、互いに位相が電氣的角度で反時計回りに 120 度ずつずれた位置に、1 組の巻線 105-U1, 1

- 2 -

05-V1, 及び105-W1と、もう1組の巻線105-U2, 105-V2, 及び105-W2が位置対応して配置されている。これら6つの巻線105-U1, 105-V1, 105-W1, 105-U2, 105-V2, 及び105-W2に
 5 対して、それぞれに30度の回転角度でずれて、更に、6つの巻線105-U1', 105-V1', 105-W1', 105-U2', 105-V2', 及び105-W2'が設けられている。巻線105-U1、巻線105-U2、105-U1'、及び105-U2'には、位相が0であるU相電圧が供給される。巻
 10 線105-V1、巻線105-V2、105-V1'、及び105-V2'には、U相電圧よりも概ね120°だけ位相が遅れたV相電圧が供給される。巻線105-W1、巻線105-W2、105-W1'、及び105-W2'には、V相電圧よりも概ね120°だけ位相が遅れたW相電圧が供給される。

15 公知のそのブラシレスモータの出力トルクTは、次式で表される。

$$T = p \{ \phi \cdot I_a \cdot \cos(\beta) + (L_q - L_d) I_a^2 \cdot \sin(2\beta) / 2 \}.$$

20 … (1)

ここで、

p : 極対数 (極数 / 2), ϕ : 永久磁石の電機子鎖交磁束の最大値

I_a : 電機子電流, β : 電機子電流の位相

25 L_d : 直軸インダクタンス (d軸方向のインダクタンス),

L_q : 横軸インダクタンス (q軸方向のインダクタンス).

- 3 -

電機子電流の位相は、U相電圧の位相を0として定義される。
式(1)の右辺第1項は、マグネットトルクを表し、右辺第2
項は、リラクタンストルクを表す。

鉄心101の表面に永久磁石が配置されたこのような表面磁
石型ブラシレスモータでは、その構造上の特性から、次式が成
立している。

$$L_d \doteq L_q \quad \dots (2)$$

ここで、記号 \doteq は、 L_d と L_q が概ね(実質的に又は近似的に)
等しいことを表している。

従って、表面磁石型ブラシレスモータは、実質的に次式：

$$T = p \{ \phi \cdot I_a \cdot \cos(\beta) \} \dots (3)$$

で表され、前式の右辺第2項の出力分は零である。その分は出
力されない。表面磁石型ブラシレスモータは、式(1)の右辺
第1項で表されるマグネットトルクしか有効利用できず、エネ
ルギー密度の高密度化が抑えられる。

式(1)の右辺第2項で表されるリラクタンストルクを有効
利用してエネルギー密度を高密度化することが望まれる。

発明の開示

本発明の目的は、リラクタンストルクを有効利用し、エネ
ルギー密度を高密度化することができるブラシレスモータを提供
することにある。

本発明の他の目的は、ブラシレスモータのトルクリップルを
抑制することにある。

本発明の更に他の目的は、ブラシレスモータの電機子電流を
小さくすることにある。

- 4 -

本発明の更に他の目的は、ブラシレスモータに供給される供給電圧を低くすることにある。

本発明の更に他の目的は、ブラシレスモータを小型化することにある。

- 5 本発明の目的を達成するために、ブラシレスモータは、ステータと前記ステータに対向する側面を有するロータとを備えている。前記ステータは、半径方向に伸びる複数の鉄心と前記鉄心に磁界をそれぞれに生成させる複数の巻線とを含む。前記ロータは、複数の永久磁石と、前記永久磁石と前記側面との間に位置する磁力線誘導体とを含む。

このとき、出力トルク T が次式：

$$T = p \{ \phi \cdot I_a \cdot \cos(\beta) + (L_q - L_d) I_a^2 \cdot \sin(2\beta) / 2 \}.$$

ここで、

- 15 p : 極対数 (極数 / 2), ϕ : 永久磁石の電機子鎖交磁束の最大値

I_a : 電機子電流, β : 電機子電流の位相

L_d : 直軸インダクタンス (d 軸方向のインダクタンス),

L_q : 横軸インダクタンス (q 軸方向のインダクタンス)

- 20 であり、次式：

$$L_d \cong L_q,$$

が成立していないことが好ましい。

また、前記ロータには前記永久磁石が軸方向に挿入される穴が形成されていることが好ましい。

- 25 前記巻線には 3 相の直流電流が流されることが好ましい。

前記巻線は、第 1 組巻線と、第 2 組巻線とを含み、前記第 1

- 5 -

組 3 相巻線と前記第 2 組 3 相巻線とは線対称に配置されていることが好ましい。

また、前記巻線は、第 1 群 3 相巻線と、第 2 群 3 相巻線とを含み、前記第 1 群 3 相巻線と第 2 群 3 相巻線の同一相の巻線は
5 同一回転方向に隣り合っており、前記第 1 群 3 相巻線は、第 1 組 3 相巻線と、第 2 組 3 相巻線とを含み、前記第 1 組 3 相巻線と前記第 2 組 3 相巻線とは幾何学的に概ね線対称に配置され、前記第 2 群 3 相巻線は、他の第 1 組 3 相巻線と、他の第 2 組 3 相巻線とを含み、前記他の第 1 組 3 相巻線と前記他の第 2 組 3
10 相巻線とは幾何学的に概ね線対称に配置されていることが好ましい。

前記巻線の数 N であり、前記永久磁石の数 P であり、前記 P は前記 N より大きいことが好ましい。

このとき、前記 P の素因数の 1 つは前記 N のどの素因数よりも大きいことが好ましい。
15

また、前記 N の素因数は、2 と 3 とを含み、前記 P の素因数は、2 と 7 とを含むことが好ましい。

また、前記 P は、

$$12 \leq P \leq 30$$

20 を満たすことが好ましい。

前記 N は 12 であり、前記 P は 14 であることが好ましい。

また、前記ロータの中心軸に垂直な平面による前記永久磁石の断面は長方形をなし、前記長方形は、短辺と、前記短辺より長い長辺とを有し、前記長辺は、前記側面に対向することが好
25 ましい。

また、前記永久磁石は、実質的に直方体であり、前記永久磁

- 6 -

石が有する面のうち前記側面に対向する磁極面と、前記ロータの中心との距離 d は、次式：

$$d \geq r - D / 10 ,$$

ここで、

$$5 \quad D = 2 \pi r / P ,$$

r : 前記ロータの半径

P : 前記永久磁石の数

を満足することが好ましい。

また、次式：

$$10 \quad 0 \leq (L_q - L_d) / L_d \leq 0.3 ,$$

ここで、

L_q : 前記ロータの横軸インダクタンス、

L_d : 前記ロータの直軸インダクタンス

が成立することが好ましい。

15 また、前記磁力線誘導体は、前記ロータの直軸方向に磁束を誘導する直軸磁力線誘導体を具備し、前記ロータには、前記ロータの横軸方向に伸展する空隙が設けられていることが好ましい。

20 図面の簡単な説明

図 1 は、公知のブラシレスモータを示す。

図 2 は、本発明による実施の第 1 形態のブラシレスモータの構成を示す。

図 3 は、ブラシレスモータの性能比較を示すグラフである。

25 図 4 は、ブラシレスモータの性能比較を示す他のグラフである。

図 5 は、本発明による実施の第 2 形態のブラシレスモータの構成を示す。

図 6 は、ロータ 3 1 の構成を示す。

図 7 は、ロータ 3 1 の一部分の拡大図である。

5 図 8 は、有効磁石面積率 $M_g c$ を説明する図である。

図 9 は、有効磁石面積率 $M_g c$ と磁束密度 B_g との極数 P に対する依存性を示す。

図 1 0 は、 q 軸インダクタンスの極数 P に対する依存性を示す。

10 図 1 1 は、電機子電流 I_a の埋め込み量 x に対する依存性を示す。

図 1 2 は、埋め込み量 x と、 $(L_q - L_d) / L_d$ との関係を示す。

図 1 3 は、実施の第 3 形態のブラシレスモータの構成を示す。

15 図 1 4 は、ロータ 3 1' の構成を示す拡大図である。

図 1 5 は、ブラシレスモータが搭載された電気自動車を示す。

図 1 6 は、ブラシレスモータが搭載された電車を示す。

発明を実施するための最良の形態

20 (実施の第 1 形態)

実施の第 1 形態のブラシレスモータは、3 相のパルス直流電流により駆動されるブラシレス DC モータである。ブラシレスモータは、図 2 に示されるように、ロータ 1 を備えている。ロータ 1 は、珪素鋼板や電磁鋼板のように磁力線を誘導する磁力線誘導体で形成されている。ロータ 1 の中に、14 極の永久磁石 2 が埋め込まれている。14 極の永久磁石 2 は、14 個の永

25

久磁石に相当する。14個の永久磁石2は、軸方向にロータ1に開けられた14個の柱状穴4に差し込まれて嵌め込まれている。柱状穴4は、軸直角断面上で台形状である。1つの柱状穴4に断面形状が長方形である1つの棒磁石が圧入的に嵌め込まれている。各永久磁石2は、その中でS極からN極に向かう磁力線が軸方向に向いている。隣り合う2つの磁石が発生する磁力線の方法は互いに逆である。14個の永久磁石2は、同一円周上で等角度（ $= 360^\circ / 14$ ）間隔で配列されている。このように円周方向に並べられた14個の磁石が形成する磁力線は、円周方向に向く磁力線と軸方向に向く磁力線との合成により生成されている。

ロータ1は、軸受構造様のステータ5を備えている。ステータ5は、円筒状のリング鉄心8と、リング鉄心8から半径方向に延びる鉄心 $10_1 \sim 10_{12}$ と、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ とを含む。以下、鉄心 $10_1 \sim 10_{12}$ は、総称して、鉄心10と参照されることがあり、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ は、総称して巻線11と参照されることがある。リング鉄心8と鉄心10とは、一体に形成されている。鉄心10の半径方向内側面とロータ1の外周面である円筒面との間には、微小なクリアランスがある。鉄心10は、等角度間隔（ $= 360^\circ / 12$ ）で同一円周上に配列されている。リング鉄心8の中心は、ロータ1の中心に一致している。鉄心10の隣接する2つの鉄心の間には、12のスロット $9_1 \sim 9_{12}$ が形成される。

鉄心 $10_1 \sim 10_{12}$ には、それぞれ、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ が巻き付けられている。12個の巻線11のうちの3つの巻線 $11_1, 11_5, 11_9$ は、第1組巻線を形成している。第1組巻

- 9 -

線を構成する 3 つの巻線は、等角度間隔($= 120^\circ = 360^\circ / 3$)で同一円周上に配列されている。12 個の巻線 11 のうちの他の 3 つの巻線 11₇, 11₁₁, 11₃は、第 1 組巻線 11₁, 11₅, 11₉に対してそれぞれに線対称に位置対応して
5 配列され、第 2 組巻線を形成している。ここで、線対称の中心は、ロータ 1 の回転軸心線に一致している。

第 1 組巻線と第 2 組巻線とは、第 1 群巻線を形成している。第 1 群巻線の 6 つの巻線にそれぞれに同一回転方向に隣り合っ
て、第 2 群巻線を形成する 6 つの巻線 11₁₂, 11₄, 11₈,
10 11₆, 11₁₀, 11₂が配列されている。

巻線 11₁ ~ 11₁₂に流される電機子電流の位相は、図 2 に示された記号 U, V, W, U', V', W' により示されている。巻線 11₁, 11₆, 11₇, 11₁₂には、U 相の電機子電流が流され、巻線 11₄, 11₅, 11₁₀, 11₁₁には、V 相の電
15 機子電流が流され、巻線 11₂, 11₃, 11₈, 11₉には、W 相の電機子電流が流される。U 相の電機子電流、V 相の電機子電流、W 相の電機子電流は、概ね 120° ずつ位相がずれたパルス直流電流である。U 相、V 相、及び W 相の電機子電流の時間間隔が制御され、即ち、磁界回転速度が制御されて、ロー
20 タ 1 が任意の回転角速度で回転する。

また、巻線 11₁ ~ 11₁₂に電流が流れる方向は、図 2 において、記号 U, V, W, U', V', W' により図示される。記号 U, V, W が示す電流の方向は、記号 U', V', W' が示す電流の方向と逆である。線対称位置にある 2 つの巻線には、同
25 一円周方向線上で見て、電流が逆方向に流される。例えば、巻線 11₁と巻線 11₇とは、逆方向に電流が流される。このよう

- 10 -

な 2 つの巻線に、ある回転角度位置に位置対応して配列されている 2 つの永久磁石 2 の極性は、互いに逆である。例えば、永久磁石 2₁ の S 極がロータ 1 に向いているのに対し、永久磁石 2₈ は、N 極がロータ 1 に向いている。第 1 群巻線のそれぞれと、このそれぞれに隣り合って同一相である第 2 群巻線のそれぞれは、電機子電流が互いに逆方向に同時的に流れる。例えば、巻線 1 1₁ と巻線 1 1₁₂ には、互いに逆方向に電機子電流が流れる。

本発明によるブラシレスモータは、公知のブラシレスモータよりも出力トルクが大きいことが、式 (1) から導き出される。式 (1) は、次のように表現される。

$$T = p (T_M + T_R)$$

$$T_M = \phi \cdot I a \cdot \cos(\beta),$$

$$T_R = (L_q - L_d) I a^2 \cdot \sin(2\beta) / 2,$$

ここで T_M は、マグネットトルクであり、 T_R は、リラクタンストルクである。

14 個の永久磁石 2₁ ~ 2₁₄ は、ロータ 1 の中に埋め込まれていて、ロータ 1 の中で磁路が閉じる磁力線密度が図 1 の公知モータに比べて高くなっている。このような相違は、 L_d と L_q の値に関してそれらをより一層に非対象化し、次式を積極的に成立させる。

$$L_q > L_d \dots (4)$$

公知のブラシレスモータと本発明によるブラシレスモータとが比較される。公知のブラシレスモータの出力トルクを T' で表し、本発明によるブラシレスモータの出力トルクを T で表すと、条件 (4) により、

$$T' < T \dots (5)$$

図 3 と図 4 とは、公知のブラシレスモータと本発明ブラシレスモータとの性能比較を示している。図 3 は回転速度と出力トルクとの関係について性能比較を示し、図 4 は回転速度と出力との関係について性能比較を示している。本発明によるブラシレスモータは、出力トルク（単位は N m）と出力（単位は k W 換算 J）とがいずれも公知のブラシレスモータより大きい。

更に、本発明によるブラシレスモータは、公知のブラシレスモータの下記利点をそのまま継承している：

- 10 （１）巻線係数が大きくて高エネルギー密度化されている。
- （２）省スロット化されており生産性効率が大きい（低コスト化）。
- （３）コギングトルク発生次数、即ち、極数 1 4 とスロット数 1 2 の最小公倍数が大きくて、トルクリップル周波数が高周波数化される。

トルクリップル周波数の高周波数化は、通常、低周波域で制御される機械系に対する影響が最小限に抑えられる点で有用である。

- 更に、 L_d が L_q に等しくならないように永久磁石の内部構造化が磁力系の突極構造化を促しているので、リラクタンストルクが有効に利用される。これにより、高エネルギー密度化即ち高出力化が可能であり、逆にいえば、小型化が可能である。

（実施の第 2 形態）

- 25 実施の第 2 形態のブラシレスモータは、実施の第 1 形態のブラシレスモータと同様の構造を有するブラシレス D C モータ

- 12 -

である。実施の第2形態のブラシレスモータは、実施の第1形態のブラシレスモータと、ロータの構造が異なる。実施の第2形態のブラシレスモータは、図5に示されているように、ステータ5とロータ31とを含む。ステータ5の構造は、実施の第1形態で説明された通りである。

ロータ31は、ロータ側面31aにおいてステータ5に対向する。ロータ31は、軸32に回転可能に接続されている。ロータ31は、軸32を中心として回転する。

ロータ31は、図2に示されているように、ロータ鉄心33と、14個の永久磁石34₁～34₁₄とを含む。永久磁石34₁～34₁₄は、総称して永久磁石34と記載される。

ロータ鉄心33は、珪素鋼板が積層されて形成されている。珪素鋼板のそれぞれは互いに絶縁されている。これにより、渦電流による損失が抑制されている。その珪素鋼板のそれぞれは打ち抜き加工され、永久磁石34が埋め込まれる穴が形成されている。その穴には、永久磁石34が挿入されている。即ち、永久磁石34は、ロータ鉄心33に埋め込まれている。なお、ロータ鉄心33は、電磁鋼板のような他の材料で構成されることも可能である。

図6は、ロータ31の軸方向の構造を示す。図6では、永久磁石34のうちの永久磁石34₂の構造が示されている。他の永久磁石34も、永久磁石34₂と同一の構造を有する。永久磁石34のそれぞれは、図6に示されているように、ロータ31の軸方向に接続された複数の磁石35からなる。磁石35は、互いに絶縁されている。これにより、渦電流による損失が抑制されている。

永久磁石 3 4 は、実質的に直方体である。永久磁石 3 4 が直方体であることは、永久磁石 3 4 を作製することが容易になる点で有利である。図 1 に示されているように公知のブラシレスモータでは、ロータ 1 0 1 の側面に、その表面が曲面である永久磁石が配置される。表面が曲面である永久磁石を作製することは、コストを高くする。一方、本実施の形態のブラシレスモータは、永久磁石 3 4 が直方体であることにより、コストが抑制される。

永久磁石 3 4 のうちの永久磁石 3 4₁、3 4₃、3 4₅、3 4₇、3 4₉、3 4₁₁、3 4₁₃ の N 極は、ロータ 3 1 の半径方向の外側にあり、また、それらの S 極は、ロータ 3 1 の半径方向の内側にある。一方、永久磁石 3 4 のうちの永久磁石 3 4₂、3 4₄、3 4₆、3 4₈、3 4₁₀、3 4₁₂、3 4₁₄ の N 極は、ロータ 3 1 の半径方向の外側にあり、また、それらの S 極は、ロータ 3 1 の半径方向の内側にある。即ち、永久磁石 3 4 のうちの隣接する 2 つは、互いに反対向きの磁力線を発生する。

図 7 は、ロータ 3 1 の一部分の拡大図である。永久磁石 3 4 は、ロータ 3 1 のロータ側面 3 1 a に対向する対向面 3 4 a と、ロータ 3 1 の中心 1 1 b に対向する対向面 3 4 b を有する。永久磁石 3 4 が有する 2 つの磁極は、対向面 3 4 a、3 4 b の上にある。対向面 3 4 a、3 4 b は、ロータ 3 1 の中心軸に垂直な方向にある永久磁石 3 4 の断面がなす長方形の長辺を構成する。

永久磁石 3 4 は、ロータ側面 3 1 a の近傍に設けられている。ロータ側面 3 1 a と、永久磁石 3 4 とは、端部 3 4 c において最も近接する。即ち、永久磁石 3 4 の埋め込み量を x、ロータ

側面 3 1 a と端部 3 4 c との距離を L としたとき、

$$x > L.$$

ここで、埋め込み量 x は、ロータ 3 1 の半径 r と、永久磁石 3 4 の有する面のうちロータ側面 3 1 a に対向する面である対
5 向面 3 4 a からロータ 3 1 の中心 1 1 b までの距離 d との差
で定義され、

$$x = r - d. \quad \dots (6)$$

ロータ 3 1 がこのような構造を有していることにより、永久
磁石 3 4 が発生する磁束が、より有効にマグネットトルクの発
10 生に利用される。ロータ側面 3 1 a と永久磁石 3 4 とが、端部
3 4 c において最も近接することにより、永久磁石 3 4 が発生
する磁力線のうちロータ側面 3 1 a と端部 3 4 c との間を通
るものを少なくすることができる。即ち、永久磁石 3 4 が発生
する磁力線のうち、ロータ側面 3 1 a を通ってステータ 5 に鎖
15 交するものを多くすることができる。これにより、より大きな
マグネットトルクが発生する。このように、当該実施の形態の
ブラシレスモータは、公知のブラシレスモータと同様に、大き
なマグネットトルクを得ることができる。

マグネットトルクの発生の観点からは、ロータ側面 3 1 a と
20 端部 3 4 c との間の距離 L は、狭いことが望ましい。ロータ側
面 3 1 a と端部 3 4 c との間の距離が狭いほど、永久磁石 3 4
が発生する磁力線のうちロータ側面 3 1 a と端部 3 4 c との
間を通るものは少なくなるからである。ロータ側面 3 1 a と端
部 3 4 c との間の距離は、永久磁石 3 4 が発生する磁力線の概
25 ね全てがロータ側面 3 1 a を通るように選ばれることが望ま
しい。

一方で、ロータ側面 3 1 a と端部 3 4 c との間の距離を狭くすると、ロータ鉄心 3 3 が永久磁石 3 4 を保持する機械的強度が弱くなる。あまりにも機械的強度が弱いと、ロータ 3 1 が回転したときにロータ鉄心 3 3 が破壊され、永久磁石 3 4 がロータ 3 1 から離脱する。ロータ側面 3 1 a と端部 3 4 c との間の距離は、ロータ 3 1 が回転しても永久磁石 3 4 が離脱しないような機械的強度を保った上で、最小に選ばれることが望ましい。発明者の実験では、必要な機械的強度を保った上で、少なくとも、対向面 3 4 a にある磁極が発生する磁力線の 9 5 % がロータ側面 3 1 a を通るように、ロータ側面 3 1 a と端部 3 4 c との間の距離を選ぶことが可能であることが確認されている。

永久磁石 3 4 は、ロータ側面 3 1 a の近傍に設けられているが、ロータ側面 3 1 a には面していない。永久磁石 3 4 はロータ鉄心 3 3 の内部に埋め込まれている。即ち、ロータ鉄心 3 3 は、永久磁石 3 4 とロータ側面 3 1 a との間に位置する磁力線誘導部分 3 3 a を含む。

磁力線誘導部分 3 3 a の存在は、当該実施の形態のブラシレスモータの入力電圧 V を低減することに寄与している。入力電圧 V は、

$$V = \sqrt{6 \cdot \{(R I_d + \omega L_q I_q)^2 + (R I_q - \omega L_d I_d + V_c)^2\}^{1/2}}.$$

… (7)

R : 電機子の抵抗, ω : ロータの回転の角振動数,

I_d : 電機子電流 I_a の d 軸成分 ($I_d = I_a \sin(\beta)$),

I_q : 電機子電流 I_a の q 軸成分 ($I_q = I_a \cos(\beta)$),

V_c : ロータが回転することにより電機子巻線に誘起される誘起電圧

で与えられる。磁力線誘導部分 3 3 a の存在により、ロータ 3 1 に弱め界磁がなされる。更に、磁力線誘導部分 3 3 a の存在により、直軸方向のインダクタンス L_d が大きくなる。従って、 $-\omega L_d I_d + V_c$ が 0 に近づく。式 (7) から理解されるように、 $-\omega L_d I_d + V_c$ が 0 に近づけば、入力電圧 V が低くなる。このように、磁力線誘導部分 3 3 a の存在は、当該ブラシレスモータの入力電圧 V を低くする。

10 磁力線誘導部分 3 3 a の存在は、同時に、リラクタンストルクの発生に寄与する。即ち、当該ブラシレスモータでは、公知のブラシレスモータと同等のマグネットトルクが利用される上、更に、リラクタンストルクが活用されることになる。マグネットトルクが高い効率で利用される上、更に、補助的にリラクタンストルクが活用されることにより、当該実施の形態のブラシレスモータは、高いトルクが得られる。

但し、前述の公知のブラシレスモータとは異なり、当該実施の形態のブラシレスモータが発生するトルクのうち、リラクタンストルクの占める割合は小さい。永久磁石 3 4 がロータ側面 3 1 a の近傍に設けられており、磁力線誘導部分 3 3 a の体積が小さいからである。当該実施の形態のブラシレスモータが発生するトルクは、主に、マグネットトルクである。発生するトルクが主としてマグネットトルクであるため、当該実施の形態のブラシレスモータは、トルクリップルが小さい。

25 当該実施の形態のブラシレスモータにおいて、永久磁石 3 4 の数、即ち、極数 P は、当該実施の形態のブラシレスモータの

- 17 -

特性に大きな影響を及ぼす。当該実施の形態のブラシレスモータは、永久磁石 3 4 の数が以下のようにして定められ、もって特性の向上が図られている。永久磁石 3 4 の数は、極数 P と記載されることがある。

5 まず、永久磁石 3 4 の数は、スロット 9 の数よりも多く定められている。スロット 9 の数は、鉄心 1 0 の数及び巻線 1 1 の数と同じであるから、永久磁石 3 4 の数は、鉄心 1 0 の数及び巻線 1 1 の数とよりも多く定められていると言い換えられる。これにより磁気回路が均一化され、トルクリップルが軽減され
10 る。

更に、永久磁石 3 4 の数は、1 2 以上 3 0 以下の範囲の中から選ばれている。永久磁石 3 4 の数が 1 2 以上 3 0 以下の範囲の中から選ばれていることの有効性が、以下で議論される。

15 まず、図 8 (a) に示されているように、永久磁石 3 4 の厚さが仮想的に 0 であるとしたときを考える。ここで、永久磁石 3 4 の厚さが仮想的に 0 であると仮定したのは、永久磁石 3 4 を最も密に配置できる理想的な場合を考えるためである。永久磁石 3 4 が有する面のうちのロータ側面 3 1 a に対向する面である対向面 3 4 a は、ロータ 3 1 の断面においてロータ 3 1
20 の内接多角形を構成する。

磁石有効面積率 Mgc を、永久磁石 3 4 の対向面 3 4 a の面積の総和の、ロータ側面 3 1 a の面積に対する比であると定義する。磁石有効面積率 Mgc は、

$$Mgc = \delta / D * 100 (\%),$$

25 で表される。ここで、D は、

$$D = 2 \pi r / P,$$

- 18 -

r : ロータ 3 1 の半径

P : 極数 (永久磁石 3 4 の数)

であり、また、 δ は、永久磁石 3 4 の対向面 3 4 a の、ロータ 3 1 の円周方向の幅である。磁石有効面積率 $M g c$ が 1 0 0
5 (％) に近いことは、永久磁石 3 4 が発生する磁力線が、より多く巻線 $1 1_1 \sim 1 1_{1_2}$ に鎖交することを意味する。

図 9 の曲線 4 1 は、磁石有効面積率 $M g c$ の極数 P に対する依存性を示す。図 9 に示されているように、磁石有効面積率 $M g c$ は、極数 P が大きくなるほど大きくなり、極数 1 2 で概ね
10 飽和する。これから、永久磁石 3 4 の厚さを仮想的に 0 とする場合には、極数 P を 1 2 以上にすることにより、巻線 $1 1_1 \sim 1 1_{1_2}$ に鎖交する磁束の磁束密度 B をほぼ最大にし得ることが理解される。

ただし、永久磁石 3 4 の厚さが無限に小さいということは、
15 実際には考えられない。永久磁石 3 4 の厚さは薄いことが望まれるが、現実には、機械的強度、永久磁石 3 4 の保磁力その他の要因により、永久磁石 3 4 の厚さは制限される。また、永久磁石 3 4 がロータ側面 3 1 a に接していることも考えられない。前述のとおり、永久磁石 3 4 の端部とロータ側面 3 1 a と
20 の距離 L は小さいことが望まれるが、機械的強度を保つためには、距離 L はある値よりも大きいことを必要とする。そこで以下では、永久磁石 3 4 が、図 8 (b) に示されているように、ある程度の厚さ β を有し、且つ、永久磁石 3 4 の端部とロータ側面 3 1 a とは、ある程度の距離 L を有する場合について考察
25 する。

対向面 3 4 a の幅 δ は、永久磁石 3 4 が厚さ β を有すること

により、より小さくなる。永久磁石 3 4 が厚さ β を有することは、ロータ側面 3 1 a を通過する磁束の磁束密度 B_e を減少させる。

また、永久磁石 3 4 の端部からロータ側面 3 1 a までの距離
5 L の存在により、隣接する 2 つの永久磁石 3 4 の対向面 3 4 a の間に磁気回路が生じる。この磁気回路の磁気抵抗は、2 つの対向面 3 4 a 同士の距離が小さくなるほど小さくなる。ここで、永久磁石 3 4 の数が大きくなるほど 2 つの対向面 3 4 a 同士の距離は小さくなり、その間の磁気抵抗も小さくなる。これは、
10 永久磁石 3 4 の数が大きくなると、ロータ 3 1 の内部で閉じるためにトルク発生に寄与しない磁束が増えることを意味する。

前述の磁石有効面積率 $M_g c$ と、2 つの対向面 3 4 a の間の磁気抵抗の両方の効果により、ロータ側面 3 1 a を通過する磁束の磁束密度 B_e は、ある極数 P において最大となる依存性を
15 示す。図 9 の中の曲線 4 2 は、永久磁石 3 4 の厚さ β と、永久磁石 3 4 の端部からロータ側面 3 1 a までの距離 L とが、2 0 0 0 年 1 1 月 8 日において現実的に設定され得る最小値であると出願人が考える値に設定された場合における、ロータ側面 3 1 a を通過する磁束の磁束密度 B_e の極数 P に対する依存性を
20 示している。ここで、磁束密度 B_e は、磁石がロータ側面全体に面していると仮定した場合にロータ側面 3 1 a を通過する磁束の磁束密度が 1 0 0 であるとして規格化されている。

図 9 の中の曲線 4 2 に示されているように、極数 P が 1 2 以下の範囲では、ロータ側面 3 1 a を通過する磁束の磁束密度 B_e は、極数 P が大きくなると急速に大きくなる。極数 P が 1 2
25 よりも大きくなると、磁束密度 B_e はほぼ飽和し、極数 P が 1

6 のときに最大値をとる。極数 P が 16 より大きくなると、磁束密度 B_e は、徐々に小さくなる。磁束密度 B_e が 85 (a r b . u n i t) よりも大きい極数 P の範囲は、12 以上 30 以下である。このように、極数 P の範囲を、12 以上 30 以下にとることにより、ロータ側面 31a を通過する磁束の磁束密度 B_e を大きくすることができる。磁束密度 B_e を大きくなると、それに対応して、当該ブラシレスモータの出力トルクも大きくなる。

また、異なる観点から見れば、極数 P の範囲を、12 以上 30 以下にとることにより、一定の出力トルクを得るのに必要な入力電流を小さくすることができるということもできる。周知のように、出力トルク T は、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ に流れる電機子電流 I_a と、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ に鎖交する磁束の磁束密度 B とに比例し、

$$T \propto I_a \cdot B,$$

即ち、

$$I_a \propto T / B. \quad \dots (8)$$

式 (8) から理解されるように、永久磁石 34 が発生した磁力線が巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ により多く鎖交すれば、一定の出力トルクを得るのに必要な電機子電流 I_a は小さい。電機子電流 I_a を小さくすることができることは、当該ブラシレスモータに電力を供給するアンプの容量を小さくすることができることを意味する。このような特性は、当該ブラシレスモータが、スペースに制限がある電気自動車の動力源として使用される上で好ましい。

以上の事実から理解されるように、極数 P を 12 以上 30 以

下を選ぶことにより、より大きな出力トルクを得ることができ、
又、一定の出力トルクを得るのに必要な電機子電流 I_a を小さくすることができる。

また、極数 P を 12 以上に選ぶことは、横軸インダクタンス
5 L_q を低減する上でも好ましい。図 10 は、対向面 34a の面積の総和が、各極数 P に対して最大になるように永久磁石 34 が配置されているという条件の下における、横軸インダクタンス L_q の極数 P に対する依存性を示す。極数 P が 12 以下の範囲では、横軸インダクタンス L_q は、極数 P が大きくなると急
10 激に減少する。極数 P が 12 以上の範囲では、その減少の度合いは小さくなる。

ここで、前述の式 (7) から理解されるように、横軸インダクタンス L_q を小さくすることにより、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ への入力電圧 V を小さくすることができる。即ち、極数 P を 12
15 以上に選ぶことにより、顕著に、巻線 $11_1 \sim 11_{12}$ への入力電圧 V を小さくすることができる。

このように、有効磁束密度 B_g の増加と、入力電圧 V の低減との 2 つの観点から、当該ブラシレスモータの極数 P は、12 以上 30 以下であることが望ましいことが理解される。

20 当該実施の形態のブラシレスモータは、極数は 14 であり、スロット 9 の数は 12 であり、上述の条件を満足する。当該実施の形態のブラシレスモータにおいて、極数とスロット数は、14 極 12 スロット以外の他の組み合わせであることも可能である。但し、小型化、高出力化の観点から、当該実施の形態
25 のように、14 極 12 スロット構造が採用されることが好ましい。

更に、当該ブラシレスモータは、永久磁石 3 4 が、以下に述べられているような位置に配置され、もって特性の向上が図られている。

永久磁石 3 4 の位置は、前述の埋め込み量 x が、

$$5 \quad x \leq D / 10 \quad \cdots (9)$$

$$D = 2 \pi r / P$$

r : ロータ 3 1 の半径、 P : 極数 (永久磁石 3 4 の数)

を満足するように選ばれている。埋め込み量 x が小さいことは、永久磁石 3 4 とロータ側面 3 1 a とがより接近していることを意味する。なお、式 (9) の条件は、対向面 3 4 a とロータ 3 1 の中心 1 1 b との距離 d について、

$$d \geq r - D / 10 \quad \cdots (9')$$

が成り立つことと同義である。距離 d が大きいことは、永久磁石 3 4 がよりロータ側面 3 1 a に近づくことを意味する。

15 図 1 1 は、一定のトルクを発生するのに必要な巻線 1 1₁ ~ 1 1₁₂ に流すべき電機子電流 I_a の、埋め込み量 x に対する依存性を示す。図 1 1 では、電機子電流 I_a のピーク値が示されている。図 1 1 に示されているように、 $x \leq D / 10$ であることにより、巻線 1 1₁ ~ 1 1₁₂ に流すべき電機子電流 I_a は、
20 顕著に低減される。

このとき、永久磁石 3 4 の位置は、

$$(L_q - L_d) / L_d \leq 0.3 \quad \cdots (10)$$

が成り立つように選ばれていると言い換えることができる。図

1 2 は、埋め込み量 x と、 $(L_q - L_d) / L_d$ との対応を示している。埋め込み量 x と $(L_q - L_d) / L_d$ とは、一対一に対応し、埋め込み量 x が小さくなるほど $(L_q - L_d) / L_d$ も小
25

さくなる。 $x = D / 10$ のとき、 $(L_q - L_d) / L_d = 0.3$ である。式 (9) と式 (10) とは一対一に対応する。

逆にいえば、ロータ鉄心 33 の構造と永久磁石 34 の位置が、上述のものと異なる場合でも、式 (10) の条件を満足するように選ばれば、ロータ鉄心 33 の形状と永久磁石 34 の位置とが上述のものである場合と同様の効果が得られる。

但し、

$$L_q - L_d \geq 0 \quad \dots (11)$$

であることが望ましい。なぜなら、式 (1) から分かるように、

10 $L_q - L_d < 0$ であると、出力トルクが減少するからである。

即ち、

$$0 \leq (L_q - L_d) / L_d \leq 0.3 \quad \dots (12)$$

が満足されることが望ましい。

15 (実施の第 3 形態)

実施の第 3 形態のブラシレスモータは、実施の第 2 形態と類似した構造を有するブラシレス DC モータである。実施の第 3 形態のブラシレスモータは、ロータの構造が実施の第 1 形態及び実施の第 2 形態と異なる。特に、ロータ鉄心の構造が、実施の第 1 形態及び実施の第 2 形態と異なる。実施の第 3 形態の他の部分

20 部分は、実施の第 1 形態及び実施の第 2 形態と同一である。

図 13 は、実施の第 3 形態のブラシレスモータの構造を示す。実施の第 2 形態のブラシレスモータは、ロータ 31' と、ステータ 5 とからなる。ステータ 5 の構造は、実施の第 1 形態で説明された通りである。

25

図 14 は、ロータ 31' の一部の拡大図である。ロータ 31'

は、ロータ鉄心 3 3' と永久磁石 3 4 とを含む。永久磁石 3 4 は、ロータ 3 1 のロータ側面 3 1 a に対向する対向面 3 4 a と、ロータ 3 1 の中心 1 1 b に対向する対向面 3 4 b を有する。永久磁石 3 4 が有する 2 つの磁極は、対向面 3 4 a、3 4 b の上
5 にある。永久磁石 3 4 は、ロータ 3 1' の半径方向に磁力線を発生する。

永久磁石 3 4 のうちの永久磁石 3 4₁、3 4₃、3 4₅、3 4₇、3 4₉、3 4₁₁、3 4₁₃ の N 極は、ロータ 3 1 の半径方向の外側にあり、また、それらの S 極は、ロータ 3 1 の半径方向
10 の内側にある。一方、永久磁石 3 4 のうちの永久磁石 3 4₂、3 4₄、3 4₆、3 4₈、3 4₁₀、3 4₁₂、3 4₁₄ の N 極は、ロータ 3 1 の半径方向の外側にあり、また、それらの S 極は、ロータ 3 1 の半径方向の内側にある。即ち、永久磁石 3 4 のうちの隣接する 2 つは、互いに反対向きの磁力線を発生する。

15 永久磁石 3 4 は、ロータ側面 3 1 a' の近傍に設けられている。永久磁石 3 4 は、ロータ側面 3 1 a' の近傍に設けられているが、ロータ側面 3 1 a には面していない。永久磁石 3 4 はロータ鉄心 3 3' の内部に埋め込まれている。永久磁石 3 4 は、実質的に、直方体である。ロータ側面 3 1 a と、永久磁石 3 4
20 とは、端部 3 4 c において最も近接する。

ロータ 3 1' が以上に説明された構造を有することにより、永久磁石 3 4 が発生する磁力線のうち、ロータ側面 3 1 a を通ってステータ 5 に鎖交するものを多くすることができる。

ここで、ロータ鉄心 3 3' には、スリット 3 3 a' が設けられて
25 いる。スリット 3 3 a' は、永久磁石 3 4 の端部 3 4 c から、ロータ側面 1 1' に向かって伸びる。但し、スリット 3 3

- 25 -

a' は、ロータ側面 1 1' には到達していない。

スリット 3 3 a' が設けられていることにより、永久磁石 3 4 が発生する磁力線のうち、ロータ 3 1' の内部で閉じるものを更に少なくすることができる。これにより、実施の第 3 形態
5 のブラシレスモータは、実施の第 2 形態と同様、大きなマグネットトルクを得ることができる。

また、ロータ鉄心 3 3' は、永久磁石 3 4 とロータ側面 3 1 a との間に位置する直軸磁力線誘導部分 3 3 b' を含む。直軸磁力線誘導部分 3 3 b' は、ロータ側面 3 1 a' から、ロータ
10 3 1' の直軸 (d 軸) 方向に伸展し、永久磁石 3 4 の表面に到達する。永久磁石 3 4 が直軸方向に発生する磁力線は、直軸磁力線誘導部分 3 3 b' を通って、ロータ側面 3 1 a' に到達し、更に、ステータ 5 に鎖交する。直軸磁力線誘導部分 3 3 b' は、ロータ 3 1' の直軸インダクタンス L_d を決定する。直軸イン
15 ダクタンス L_d は、特に、直軸磁力線誘導部分 3 3 b' の円周方向の幅によって定まる。

直軸磁力線誘導部分 3 3 b' の円周方向の幅は、 $-\omega L_d + V_c$ が実質的に 0 であるように選ばれる。ここで、 ω は、ロータ 3 1' の回転の角振動数、 V_c は、ロータが回転することにより巻線 1 1₁ ~ 1 1₁₂ に誘起される誘起電圧である。前述の
20 式 (5) から理解されるように、 $-\omega L_d + V_c$ が実質的に 0 であるように選ばれることにより、当該ブラシレスモータの入力電圧 V を小さくすることができる。

更にロータ鉄心 3 3' には、空隙 3 3 c' が設けられている。
25 空隙 3 3 b' は、永久磁石 3 4 とロータ側面 3 1 a との間に位置する。空隙 3 3 c' は、横軸 (q 軸) 方向に伸展する。これ

により、ロータ 3 1' の横軸インダクタンス L_q が減少する。
式 (5) から理解されるように、横軸インダクタンス L_q が減少すると、当該ブラシレスモータの入力電圧 V が小さくなる。

このように実施の第 3 形態のブラシレスモータは、当該ブラ
シレスモータの入力電圧 V を、更に小さくすることができる。

実施の第 3 形態の場合でも、実施の第 2 形態と同様に、永久
磁石 3 4 の位置と、ロータ鉄心 3 3' の形状は、

$$0 \leq (L_q - L_d) / L_d \leq 0.3 \quad \dots (13)$$

が成り立つように選ばれることが望ましい。

10 上述された実施の第 1 形態、第 2 形態及び第 3 形態のブラシ
レスモータは、電気自動車の駆動用に使用されることが好適で
ある。図 1 5 は、実施の第 1 形態及び実施の第 2 形態のブラシ
レスモータが搭載された電気自動車を示す。その電気自動車に
は、電池 5 1 が設けられている。電池 5 1 は、高電圧リレー 2
15 に接続されている。高電圧リレー 5 2 は、アンプ 5 3 と当該電
気自動車の各部に電圧を供給する。アンプ 5 3 は、アクセルペ
ダル 5 4 の動きに応じて、ブラシレスモータ 5 0 に電圧を供給
する。ブラシレスモータ 5 0 としては、上述の実施の第 1 形態、
第 2 形態及び第 3 形態のいずれかのブラシレスモータが搭載
20 される。ブラシレスモータ 5 0 は、トランスミッション 5 5 と
駆動軸 5 6 を介して駆動輪 5 7 を駆動する。ブラシレスモータ
5 0 が搭載された電気自動車は、上述のブラシレスモータ 5 0
の特長から、アンプ 5 3 の容量を小さくすることができる。

更に、上述された実施の第 1 形態、第 2 形態及び第 3 形態の
25 ブラシレスモータは、電車に搭載されることも好適である。図
1 6 は、当該実施の形態のブラシレスモータが搭載された電車

- 27 -

の構成を示す。その電車には、パンタグラフ 6 1 が設けられている。パンタグラフ 6 1 は、電源電圧が供給されている架線 6 2 に接触し、アンプ 6 3 に電源電圧を供給する。アンプ 6 3 は、制御装置 6 4 に接続されている。制御装置 6 4 には、スロットルレバー 6 4 a が設けられている。アンプ 6 3 は、スロットルレバー 6 4 a の動きに応じて、ブラシレスモータ 6 0 に入力電圧を供給する。ブラシレスモータ 6 0 としては、上述の実施の第 1 形態、第 2 形態及び第 3 形態のいずれかのブラシレスモータが搭載される。ブラシレスモータ 6 0 は、トランスミッション 6 5 と駆動軸 6 6 を介して駆動輪 6 7 を駆動する。ブラシレスモータ 6 0 が搭載されたその電車は、上述のブラシレスモータ 6 0 の特長から、アンプ 6 3 の容量を小さくすることができる。

以上に説明されたように、本発明により、ブラシレスモータの出力トルクが大きくなる。

また、本発明により、ブラシレスモータのトルクリップルが抑制される。

また、本発明により、ブラシレスモータの電機子電流が小さくなる。

また、本発明により、ブラシレスモータの入力電圧が低くなる。

また、本発明により、ブラシレスモータが小型化される。

産業上の利用の可能性

ブラシレスモータ

請求の範囲

1. ステータと

前記ステータに対向する側面を有するロータ
とを備え、

5 前記ステータは、

半径方向に伸びる複数の鉄心と

前記鉄心に磁界をそれぞれに生成させる複数の巻線とを含み、

前記ロータは、

複数の永久磁石と、

10 前記永久磁石と前記側面との間に位置する磁力線誘導体
とを含む

ブラシレスモータ。

2. 請求の範囲第1項に記載のブラシレスモータにおいて、

15 出力トルク T が次式：

$$T = p \{ \phi \cdot I_a \cdot \cos(\beta) + (L_q - L_d) I_a^2 \cdot \sin(2\beta) / 2 \}.$$

ここで、

p ：極対数（極数／2）， ϕ ：永久磁石の電機子鎖交磁束の最

20 大値

I_a ：電機子電流， β ：電機子電流の位相

L_d ：直軸インダクタンス（ d 軸方向のインダクタンス），

L_q ：横軸インダクタンス（ q 軸方向のインダクタンス）

であり、次式：

25 $L_d \neq L_q$ ，

が成立していない

ブラシレスモータ。

3. 請求の範囲第1項記載のブラシレスモータにおいて、
前記ロータには前記永久磁石が軸方向に挿入される穴が形成

5 されている

ブラシレスモータ。

4. 請求の範囲第1項記載のブラシレスモータにおいて、
前記巻線には3相の直流電流が流される

10 モータ。

5. 請求の範囲第4項記載のブラシレスモータにおいて、
前記巻線は、

第1組巻線と、

15 第2組巻線とを含み、

前記第1組3相巻線と前記第2組3相巻線とは線対称に配置
されている

ブラシレスモータ。

20 6. 請求の範囲第4項記載のブラシレスモータにおいて、
前記巻線は、

第1群3相巻線と、

第2群3相巻線とを含み、

前記第1群3相巻線と第2群3相巻線の同一相の巻線は同一

25 回転方向に隣り合っており、

前記第1群3相巻線は、

第 1 組 3 相巻線と、

第 2 組 3 相巻線とを含み、

前記第 1 組 3 相巻線と前記第 2 組 3 相巻線とは幾何学的に概ね線対称に配置され、

5 前記第 2 群 3 相巻線は、

他の第 1 組 3 相巻線と、

他の第 2 組 3 相巻線とを含み、

前記他の第 1 組 3 相巻線と前記他の第 2 組 3 相巻線とは幾何学的に概ね線対称に配置されている

10 ブラシレスモータ。

7. 請求の範囲第 1 項記載のブラシレスモータにおいて、

前記巻線の数 N であり、

前記永久磁石の数 P であり、

前記 P は前記 N より大きい

15 ブラシレスモータ

8. 請求の範囲第 7 項記載のブラシレスモータにおいて、

前記 P の素因数の 1 つは前記 N のどの素因数よりも大きい
ブラシレスモータ。

20

9. 請求の範囲第 8 項記載のブラシレスモータにおいて、

前記 N の素因数は、2 と 3 とを含み、

前記 P の素因数は、2 と 7 とを含む

ブラシレスモータ。

25

10. 請求の範囲第 7 項記載のブラシレスモータにおいて、

前記 P は、

$$12 \leq P \leq 30$$

を満たす

ブラシレスモータ。

5

11. 請求の範囲第7項記載のブラシレスモータにおいて、
前記 N は 12 であり、前記 P は 14 である
ブラシレスモータ。

10 12. 請求の範囲第7項記載のブラシレスモータにおいて、
前記ロータの中心軸に垂直な平面による前記永久磁石の断面は長方形をなし、
前記長方形は、
短辺と、

15 前記短辺より長い長辺
とを有し、
前記長辺は、前記側面に対向する
ブラシレスモータ。

20 13. 請求の範囲第1項記載のブラシレスモータにおいて、
前記永久磁石は、実質的に直方体であり、
前記永久磁石が有する面のうち前記側面に対向する磁極面
と、前記ロータの中心との距離 d は、次式：

$$d \geq r - D / 10,$$

25 ここで、

$$D = 2 \pi r / P,$$

- 32 -

r : 前記ロータの半径

P : 前記永久磁石の数

を満足する

ブラシレスモータ。

5

14. 請求の範囲第1項記載のブラシレスモータにおいて、

次式：

$$0 \leq (L_q - L_d) / L_d \leq 0.3,$$

ここで、

10 L_q : 前記ロータの横軸インダクタンス、

L_d : 前記ロータの直軸インダクタンス

が成立する

ブラシレスモータ。

15 15. 請求の範囲第1項記載のブラシレスモータにおいて、

前記磁力線誘導体は、前記ロータの直軸方向に磁束を誘導する直軸磁力線誘導体を具備し、

前記ロータには、前記ロータの横軸方向に伸展する空隙が設けられた

20 ブラシレスモータ。

16. 請求の範囲第15項記載のブラシレスモータにおいて、

次式：

$$0 \leq (L_q - L_d) / L_d \leq 0.3,$$

25 ここで、

L_q : 前記ロータの横軸インダクタンス、

- 33 -

L_d : 前記ロータの直軸インダクタンス
が成立する

ブラシレスモータ。

5 17. 駆動輪と、

請求項1から請求項16のいずれかーに記載されたブラシ
レスモータと、ここで前記ブラシレスモータが含む前記ロータ
は前記駆動輪を駆動し、

10 前記ブラシレスモータに電源電圧を供給する電源電圧供給
部

とを具備する

モータ駆動車両。

18. 駆動輪と、

15 請求項1から請求項16に記載のいずれかーに記載された
ブラシレスモータと、ここで前記ブラシレスモータが含む前記
ロータは前記駆動輪を駆動し、

アクセルペダルの動きに応じて前記ブラシレスモータに電
源電圧を供給する電源電圧供給部

20 とを具備する

電気自動車。

19. 駆動輪と、

請求項1から請求項16に記載のいずれかーに記載された
25 ブラシレスモータと、ここで前記ブラシレスモータが含む前記
ロータは前記駆動輪を駆動し、

- 34 -

スロットルレバーの動きに応じて前記ブラシレスモータに
電源電圧を供給する電源電圧供給部
とを具備する
電車。

図 1

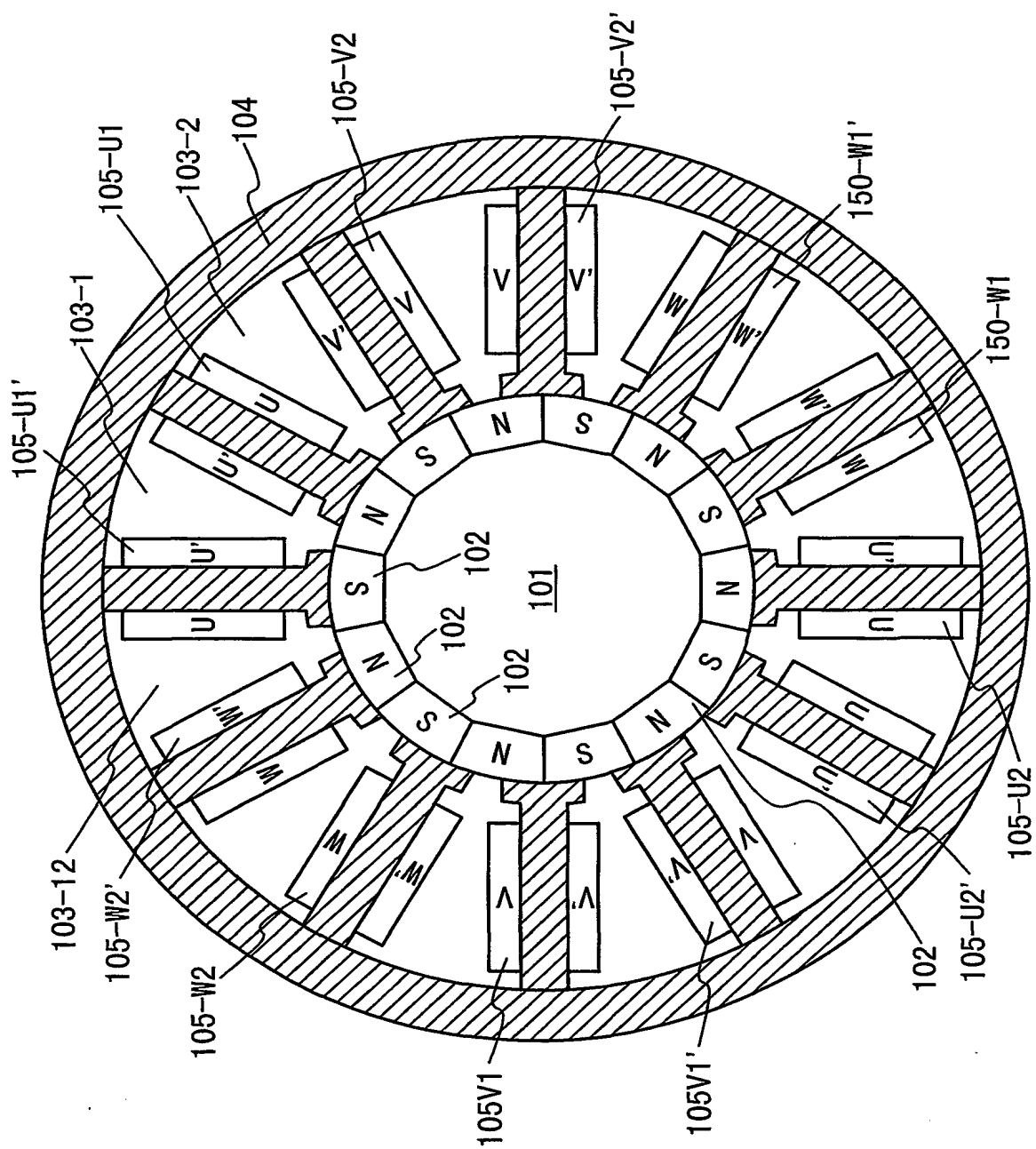
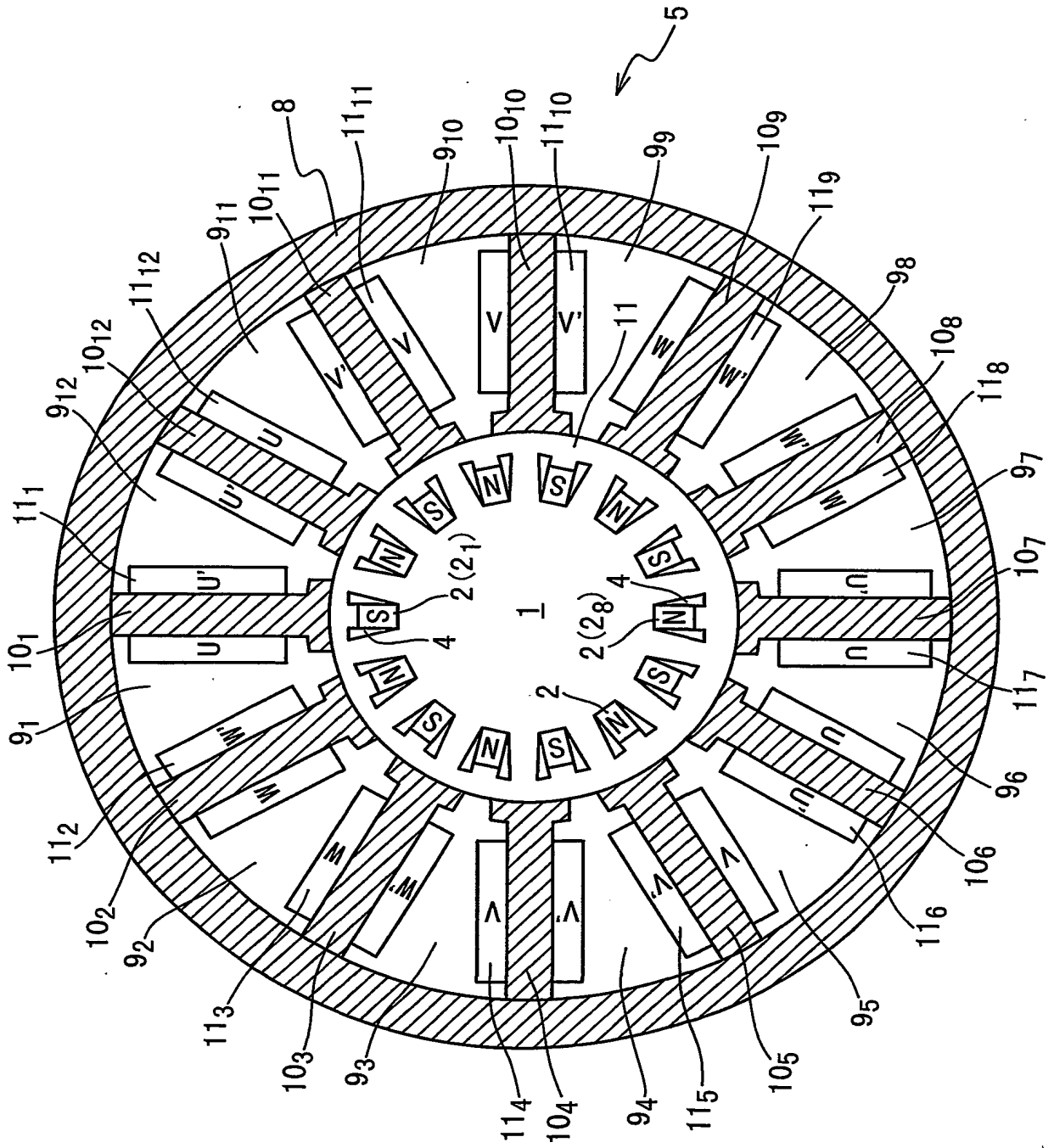


図 2



3 / 16

図 3

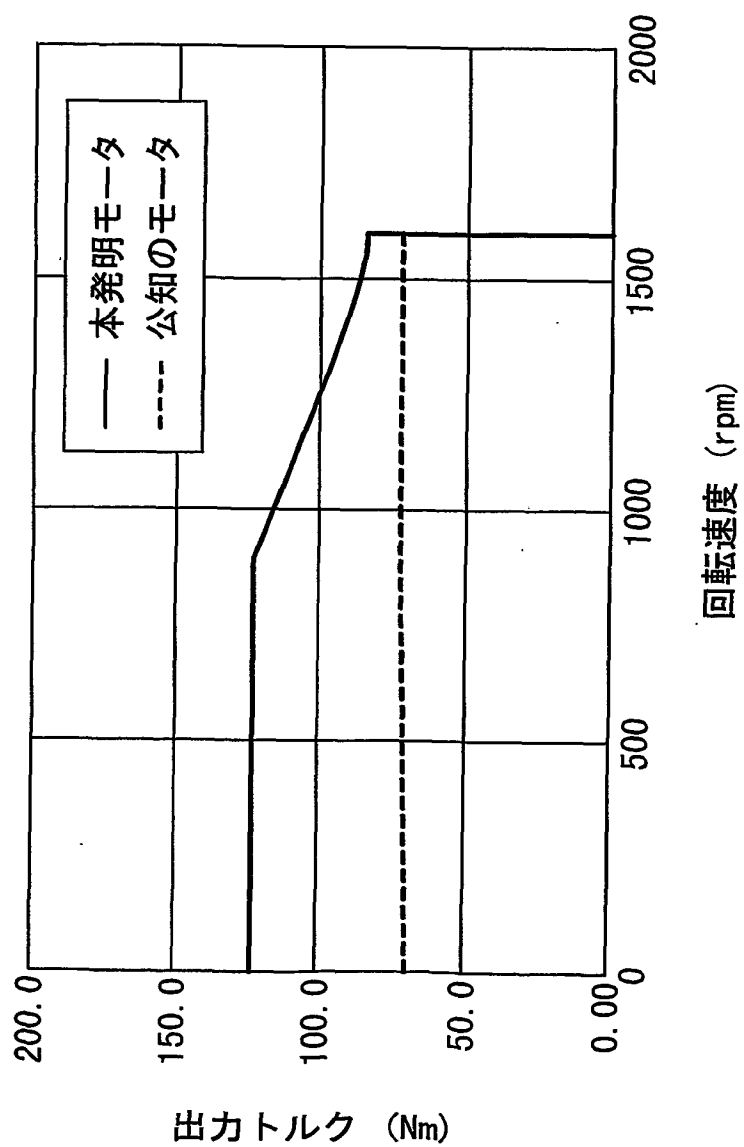


図 4

4 / 16

PCT/JP01/04606

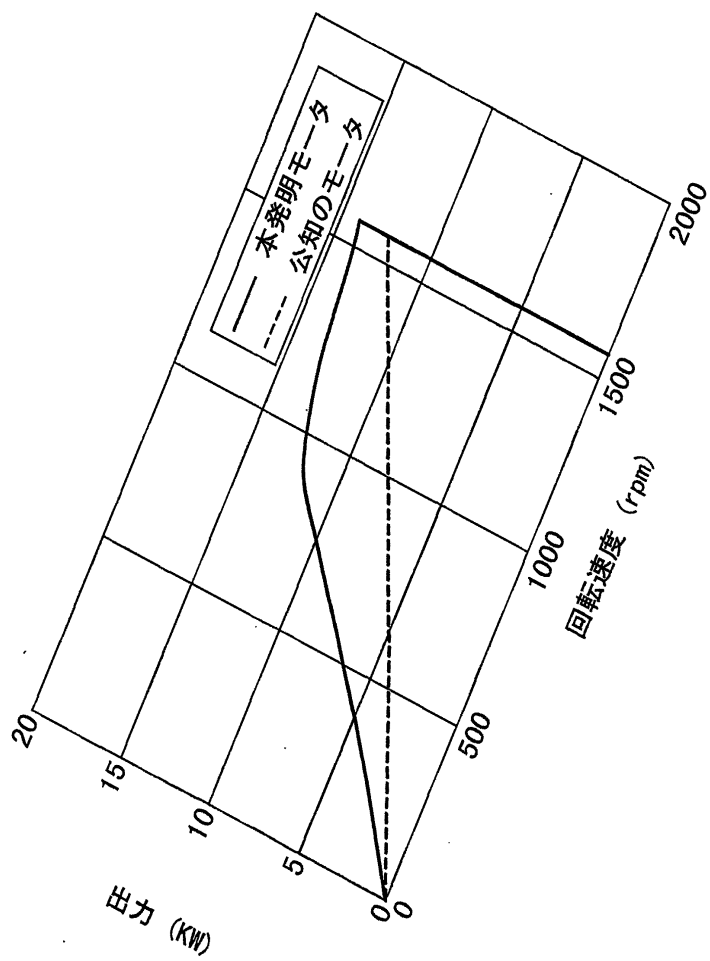
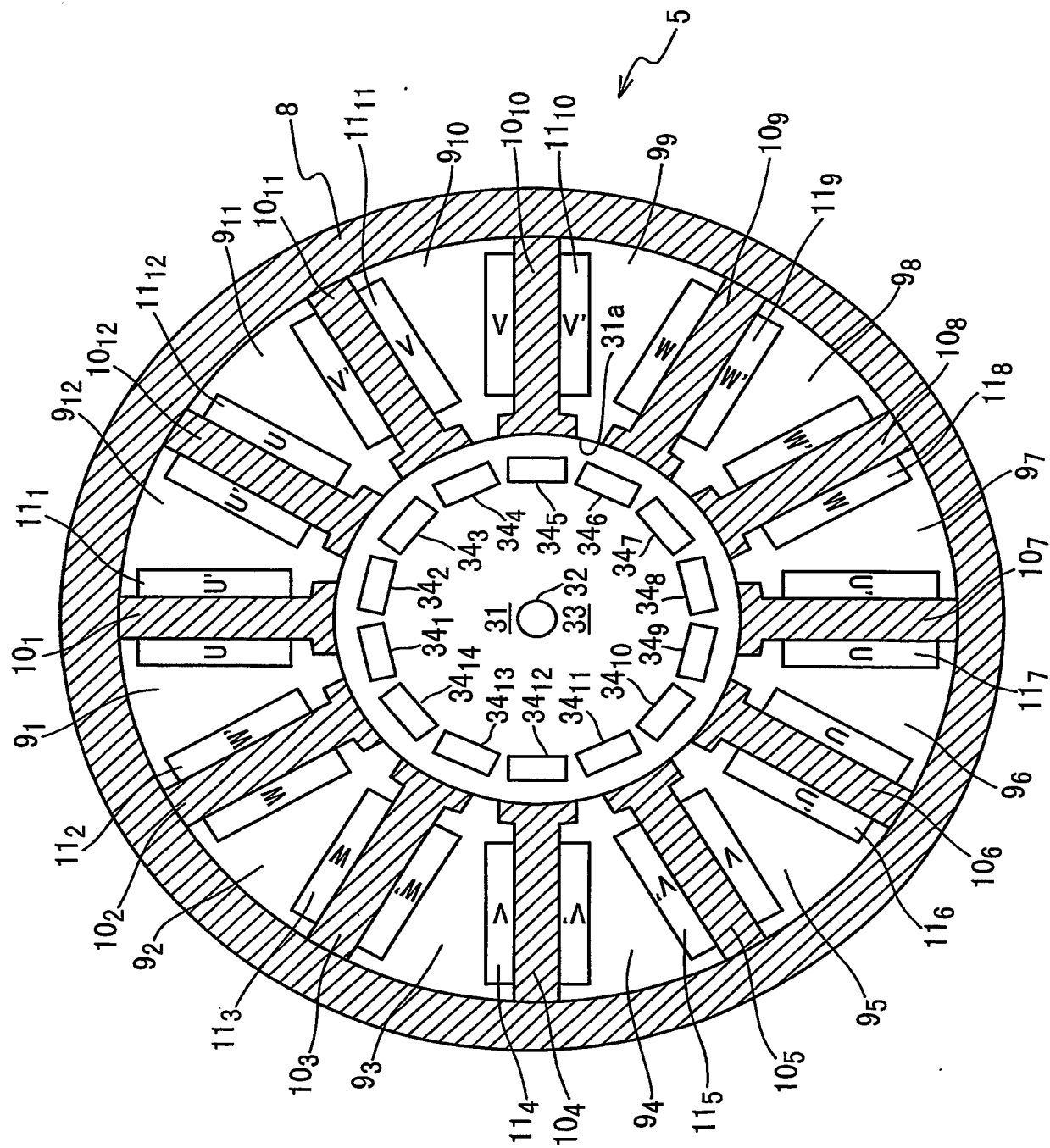
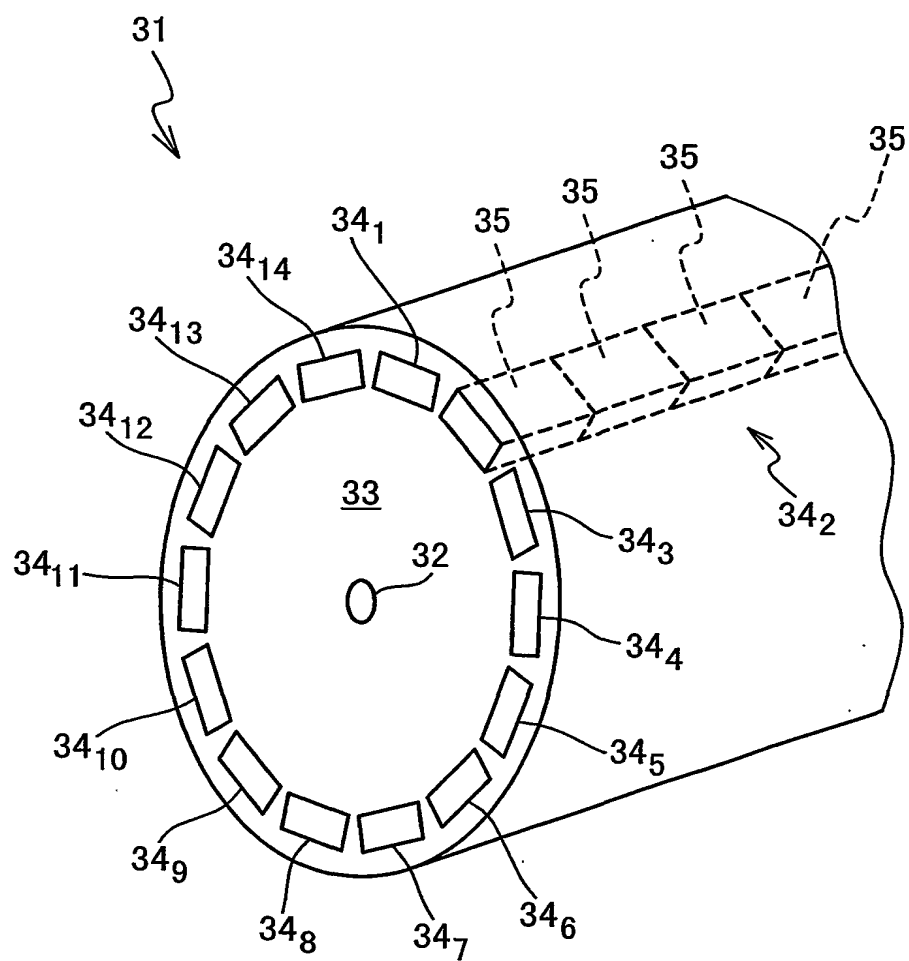


図 5



6 / 16

図 6





7 / 16

图 7

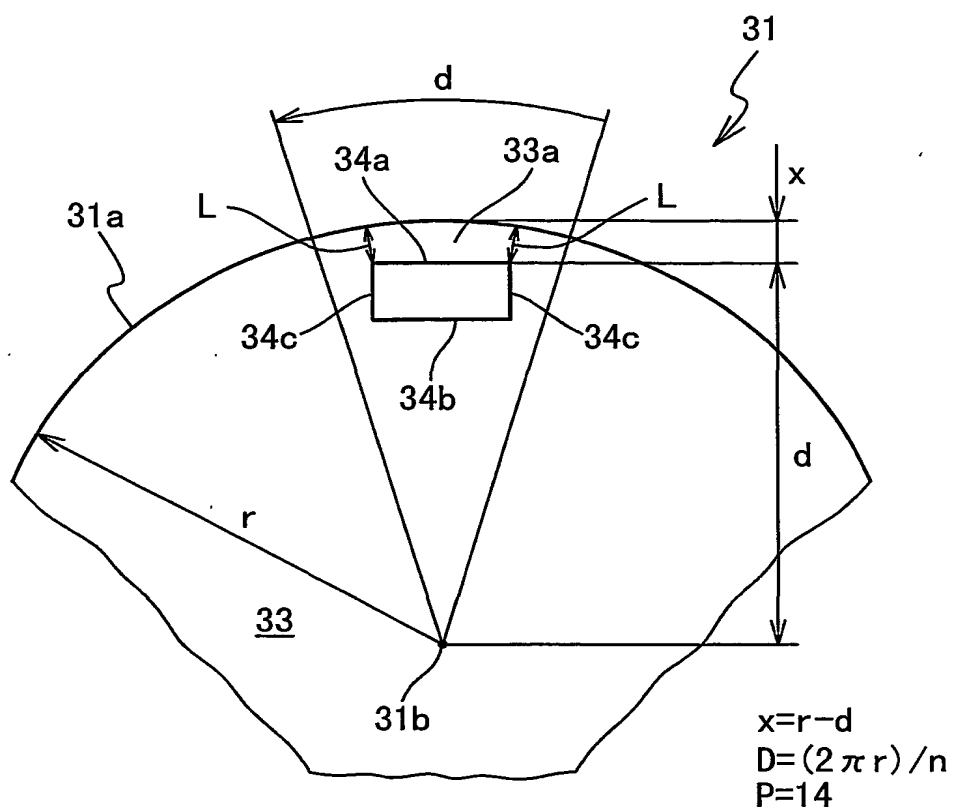
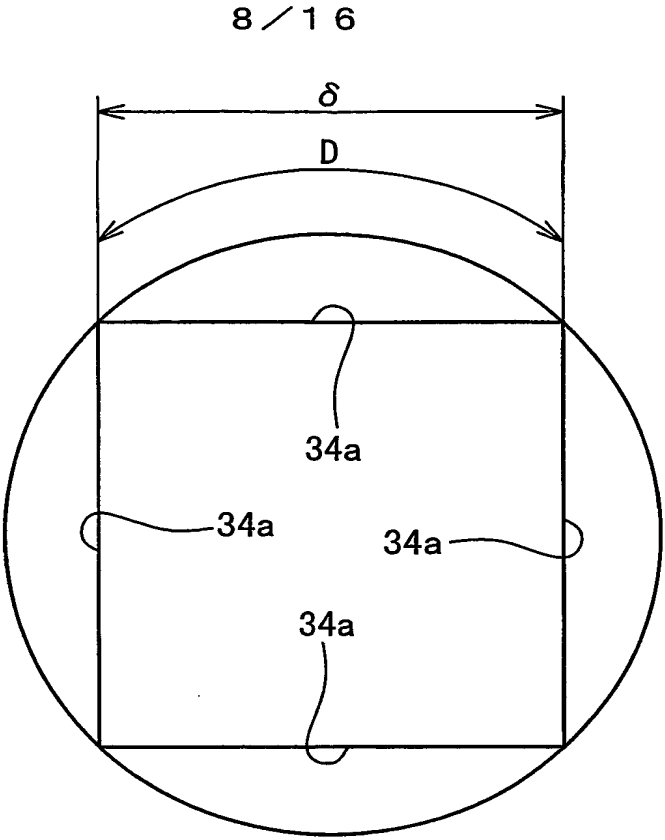
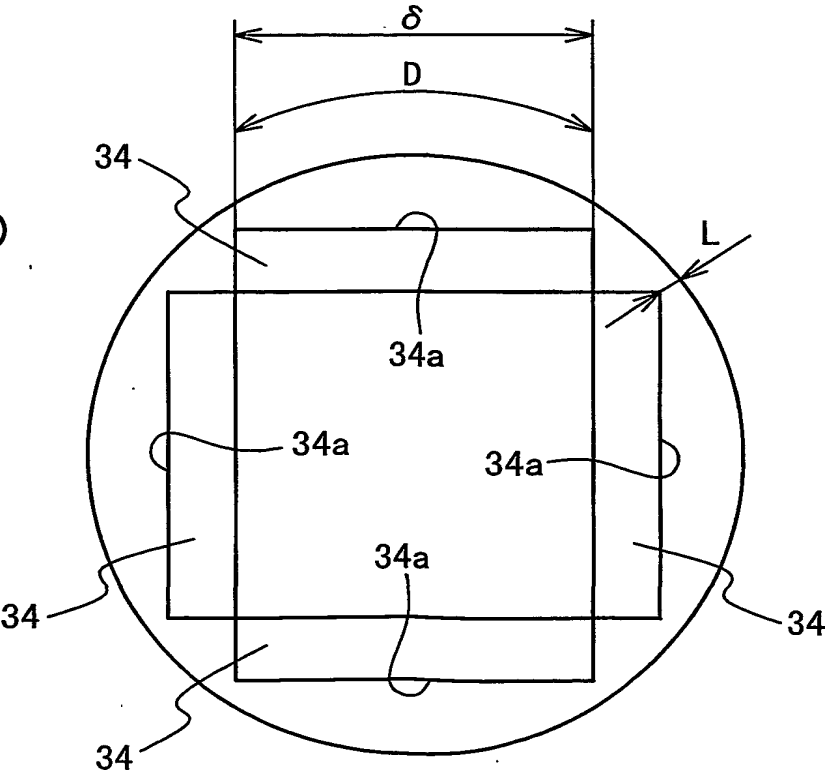


図 8

(a)

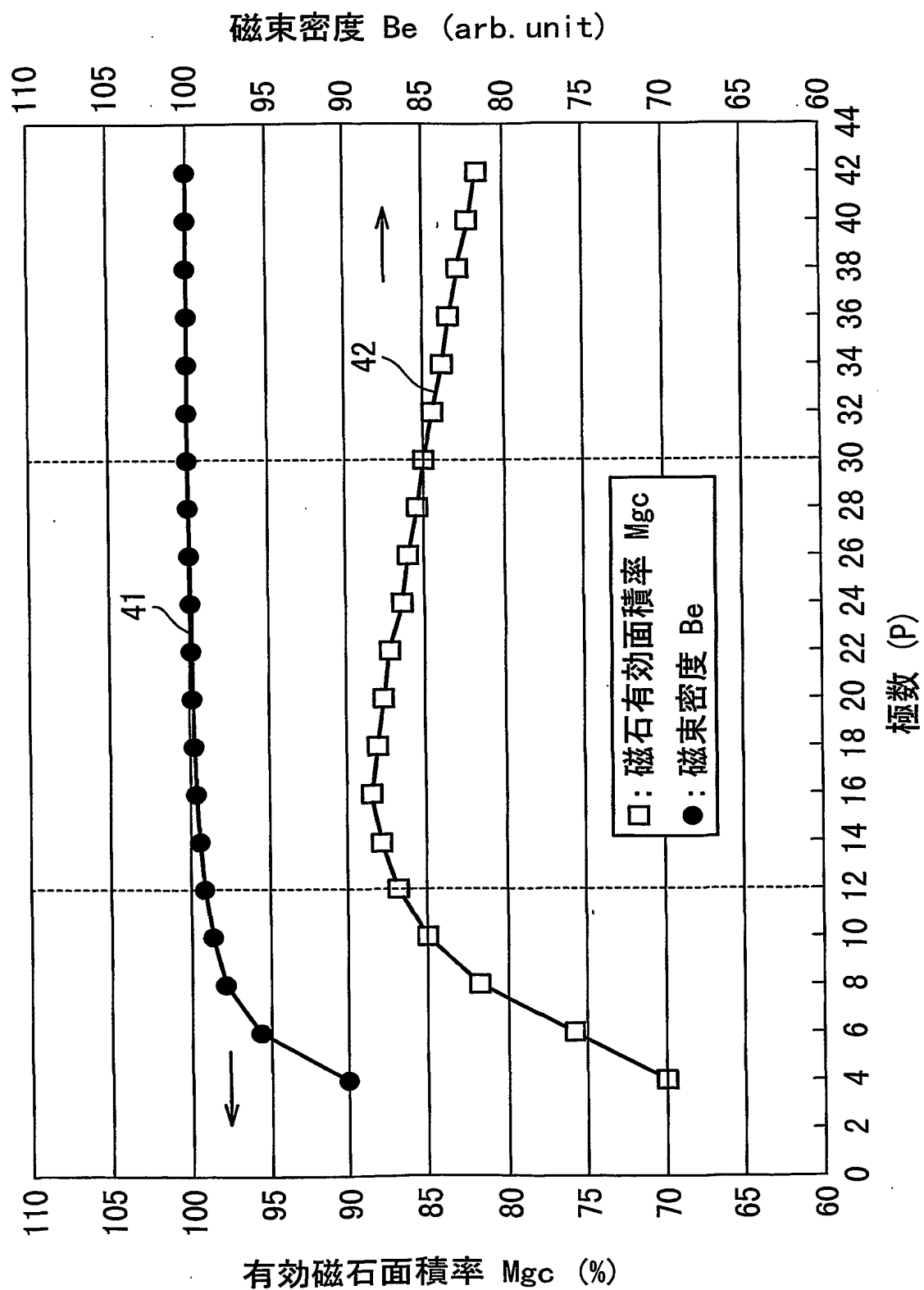


(b)



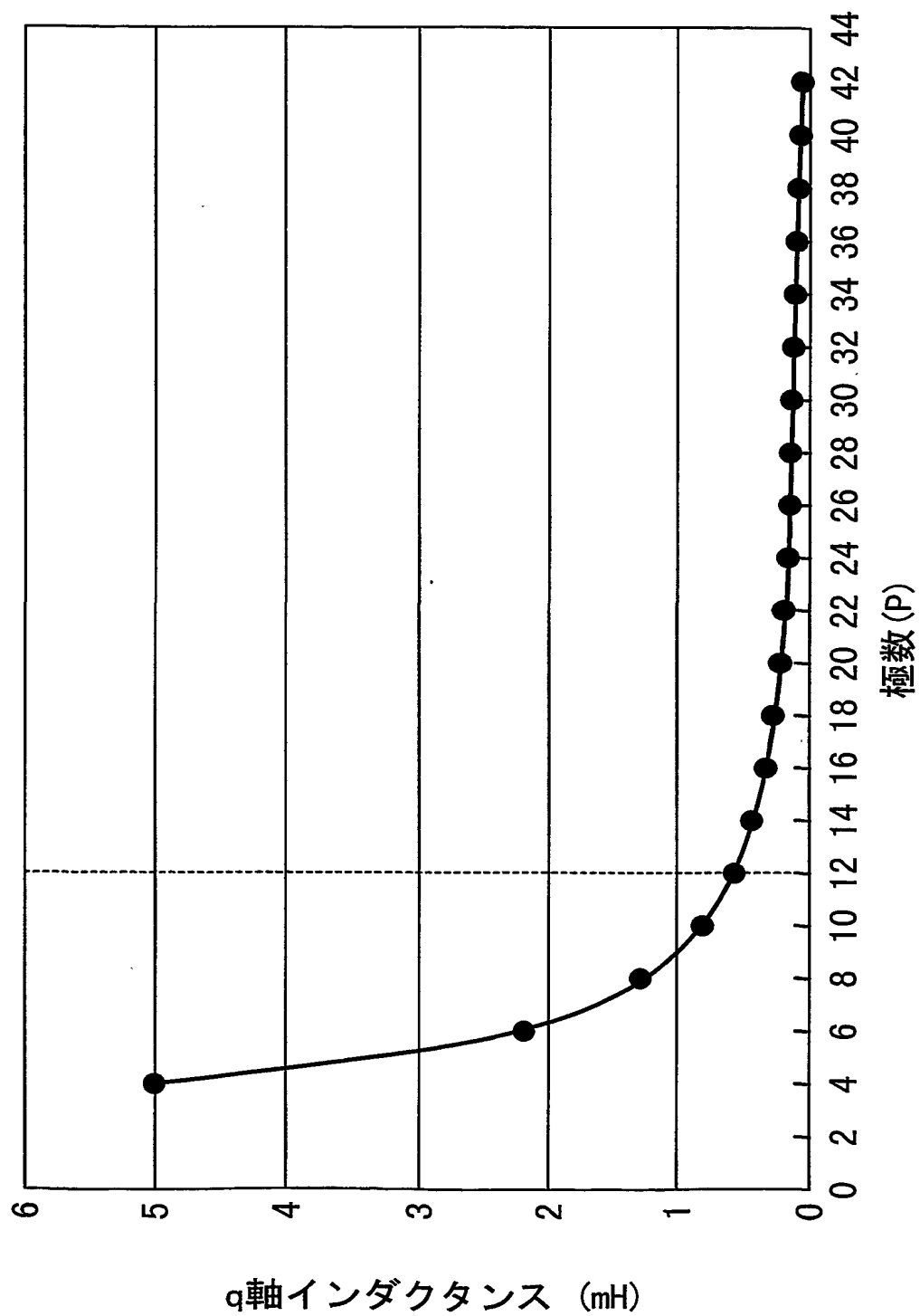
9/16

図 9



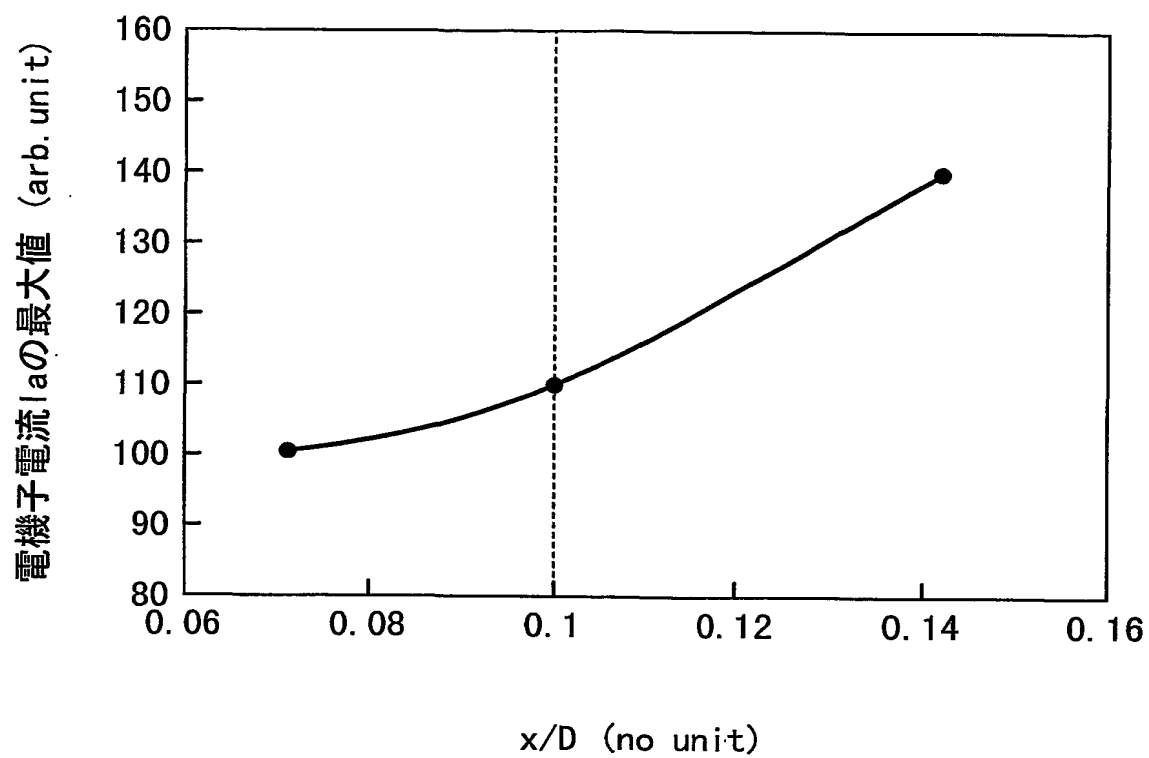
10/16

図 10



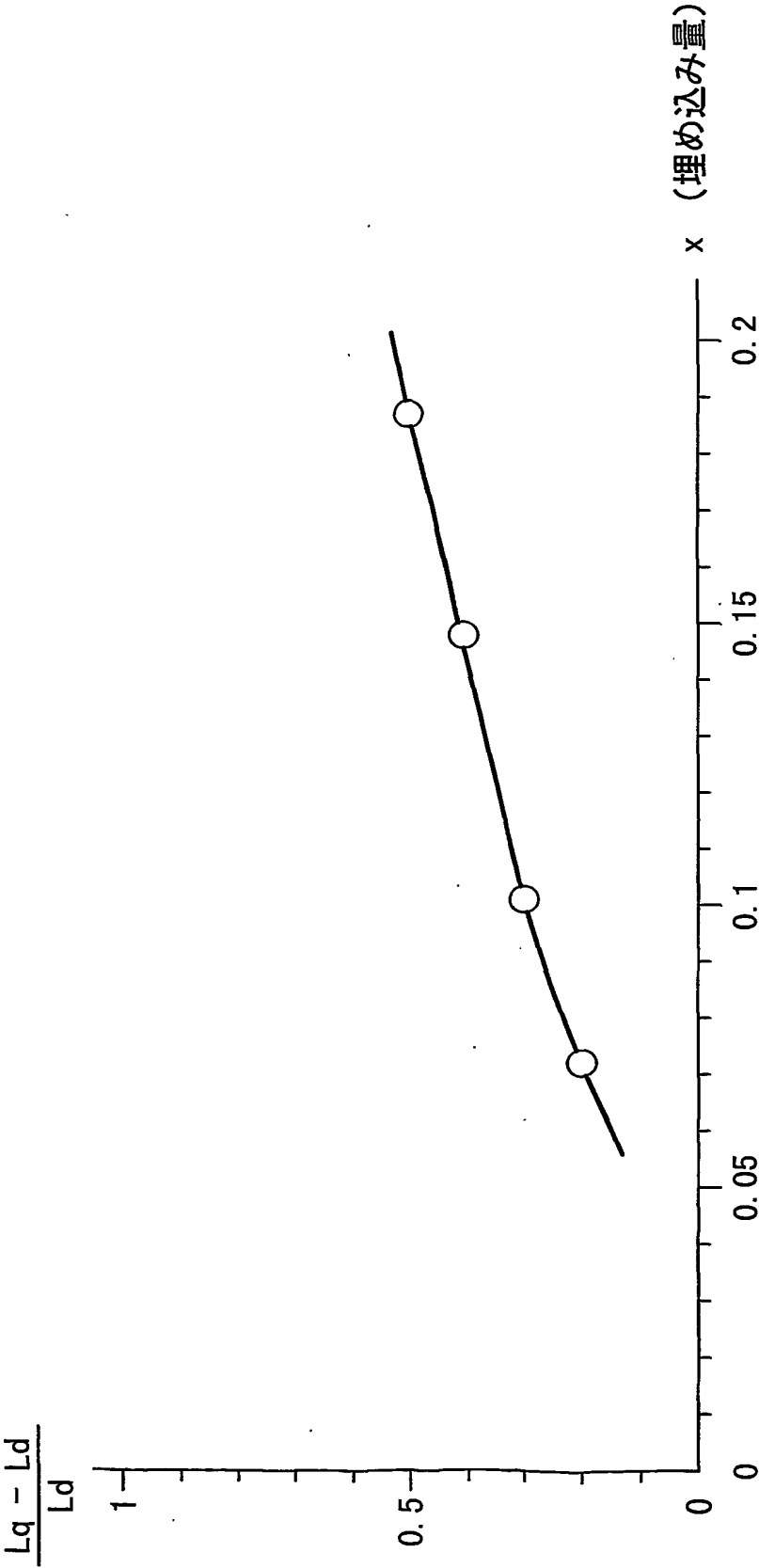
11 / 16

図 1 1



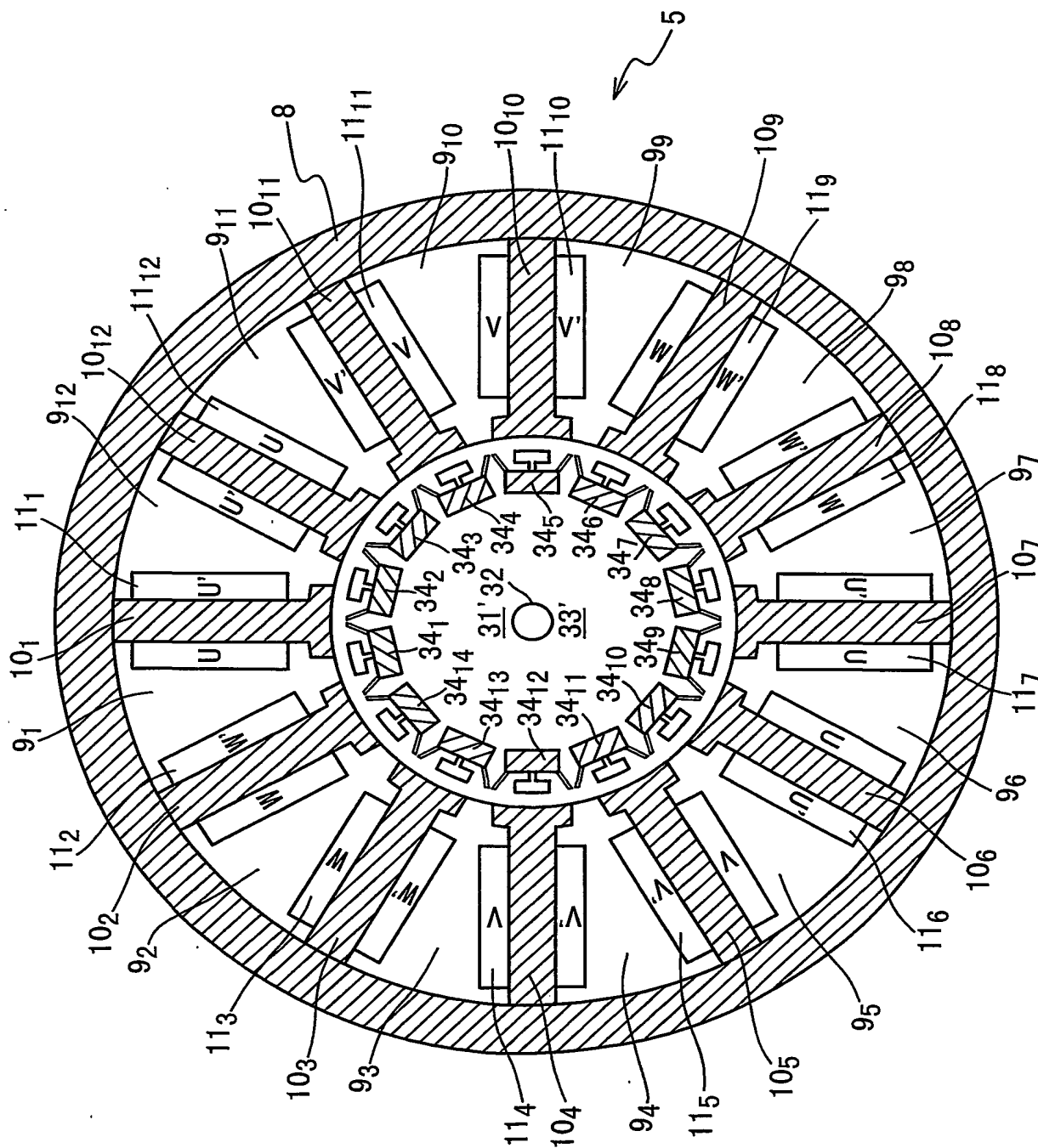
12 / 16

図 1 2



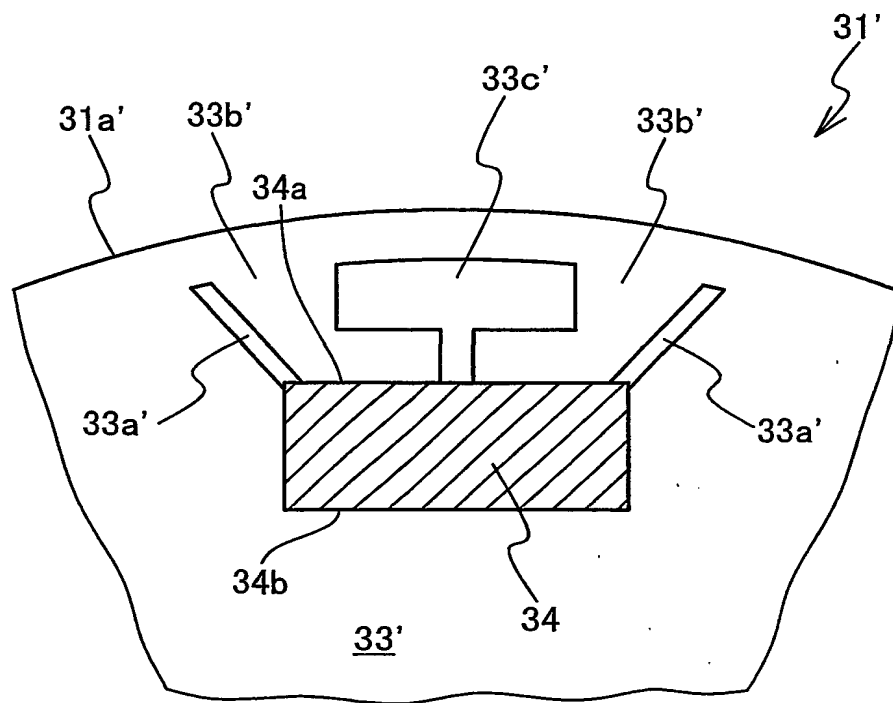
13 / 16

図 13



1 4 / 1 6

図 1 4



15/16

図 15

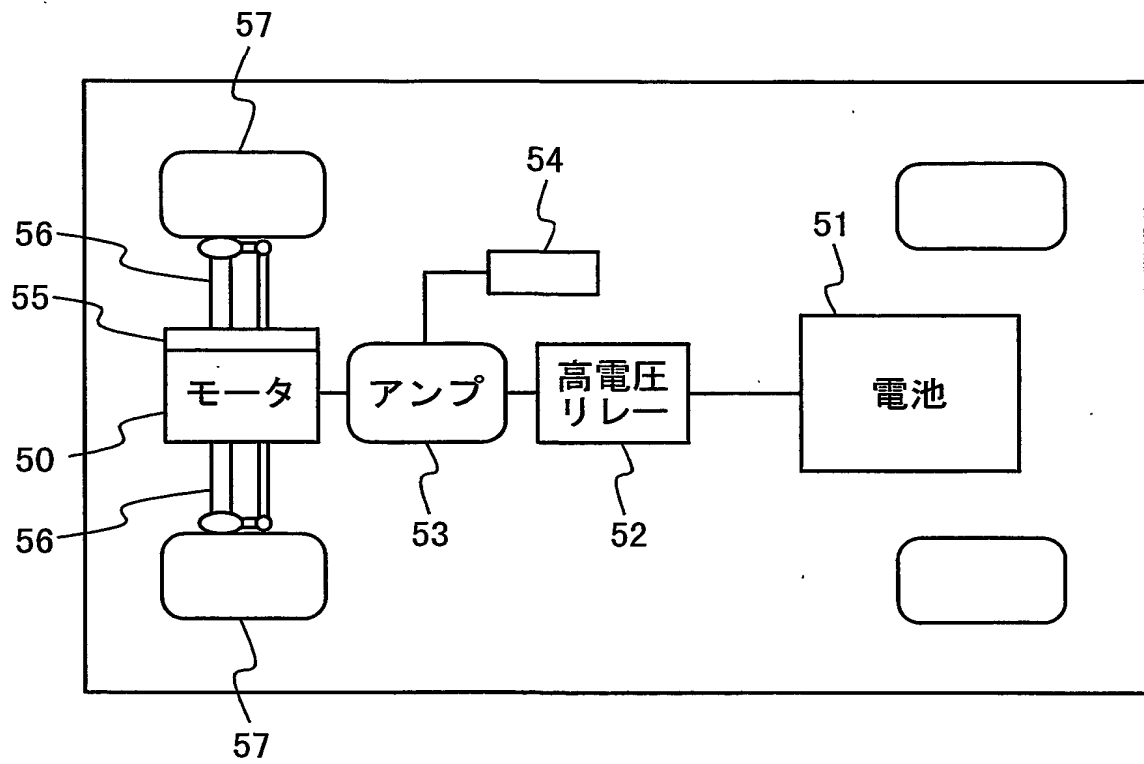


図 16

